

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 04192317
PUBLICATION DATE : 10-07-92

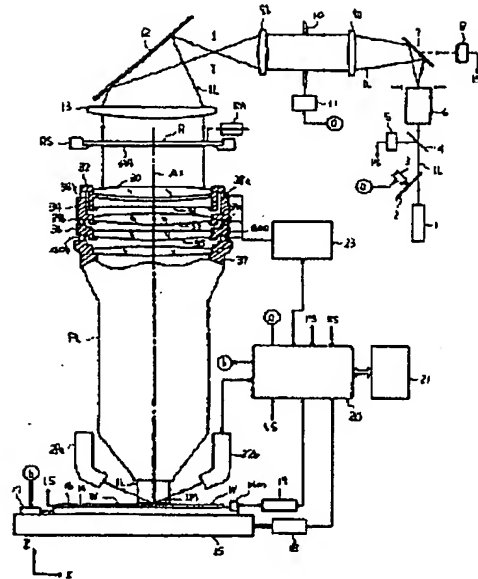
APPLICATION DATE : 26-11-90
APPLICATION NUMBER : 02318025

APPLICANT : NIKON CORP;

INVENTOR : NEI MASAHIRO;

INT.CL. : H01L 21/027 G03F 7/20

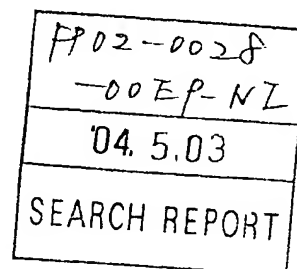
TITLE : PROJECTION OPTICAL EQUIPMENT



ABSTRACT : PURPOSE: To realize highly precise image formation, and improve image overlapping precision and the like, by a method wherein the change of image state due to thermal deformation caused by illumination light absorption on a reticle is obtained by calculation, and correction is performed by a correcting means.

CONSTITUTION: A light shielding object is inserted between a reticle R and a projection optical system PL. A shutter 2 is opened for a specified period, and illumination light is projected. Next the light shielding object is removed. The image of the reticle R is again exposed on a wafer W, and compared with the firstly exposed image. Thus the change amount of image state due to the thermal deformation of the reticle R can be known. After sufficient correction about the thermal deformation of the reticle is finished by the above method, projection is performed under the state that the light shielding object is not present, thereby detecting the amount of illumination light absorption of the projection optical system PL. Hence the thermal deformation of the reticle and that of the projection optical system can be separated, and the correction can be done separately, so that accurate correction is realized even when the reticle is exchanged during operation.

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio



⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平4-192317

⑤ Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成4年(1992)7月10日

H 01 L 21/027
G 03 F 7/20

5 2 1

7818-2H
7352-4M
7352-4M

H 01 L 21/30

3 1 1 L
3 0 1 G

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全11頁)

⑭ 発明の名称 投影光学装置

⑯ 特 願 平2-318025

⑰ 出 願 平2(1990)11月26日

⑱ 発 明 者 谷 口 哲 夫 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 発 明 者 根 井 正 洋 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑳ 出 願 人 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

㉑ 代 理 人 弁理士 佐藤 正年

明 細 書

1. 発明の名称

投影光学装置

2. 特許請求の範囲

(1) 所定波長域の照明光で所定のパターンが形成されたマスクを照明し、該パターンの像を投影光学系を介して、被投影基板上に所定の結像状態で結像させる投影光学装置において、

前記照明光の吸収による前記マスクの熱変形量に応じて生じる前記結像状態の変化量を演算する演算手段と、

前記変化量に基づき前記結像状態を補正する補正手段とを備えたことを特徴とする投影光学装置。

(2) 前記演算手段が、所定の数値計算により前記マスクの熱変形量を演算し、該演算結果に基づいて前記結像状態の変化量を演算するものであることを特徴とする請求項1記載の投影光学装置。

(3) 前記演算手段が、前記マスクの熱変形量を測定する測定手段を有し、該測定結果より結像状態の変化量を演算するものであることを特徴とす

る請求項1記載の投影光学装置。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は例えば半導体製造用のパターン露光装置等、高度な結像特性を要求される投影光学装置に関するものであり、特にその結像特性の維持に関するものである。

[従来の技術]

従来、半導体集積回路のパターンが微細化するに伴い、投影光学装置においては、投影光学系が露光光を吸収することによって生じる結像特性(例えば倍率、焦点位置)の変化を補正する必要が生じてきた。例えば、特開昭60-78455号又は特開昭63-58349号公報に開示されているように、投影光学系に入射する光量を検知して、投影光学系の光学特性の変動を補正する機構が備えられていた。

これを簡単に説明すると、結像特性の変動特性に対応するモデルをあらかじめ作っておき、ステージ上の光電センサ等により投影光学系に入射す

る光エネルギーの量を求め、変動量について経時的にこのモデルに従って計算する。つまり、露光動作中のシャッターOPENの信号を受けとり、光学特性の変化量をモデルに従い露光が実施されている間、常に計算し、この変化量に基づいて補正を行うというものである。

【発明が解決しようとする課題】

上記の技術において投影光学系の露光光の吸収という問題は一応解決されている。しかし、露光光線はマスクをも通過するため、マスクが露光光吸収によって熱変形し、これによって結像特性の変化が生じるという問題がある。

特にマスクはクロム等でパターンが描かれているため、透過率の高いガラス部材と異なりクロム部での熱吸収が大きい。さらに、近年光学系のフレアー防止の目的でマスク上のクロムを低反射化する技術が採用される傾向にあるが、これによりクロム部分の熱吸収はさらに増加する。

クロム部分の熱吸収により、マスクのガラス部の温度も上昇し、マスク全体が熱膨張することが

考えられる。マスクの温度上昇は実測によれば最悪の条件で約5℃程度上昇する。これはマスクの材質が石英ガラスで膨張率が $0.4\text{ppm}/^\circ\text{C}$ であっても10mm間隔で $0.02\mu\text{m}$ のずれを発生し、像面でのディストーション誤差あるいは倍率誤差の原因となる。

また、マスクのクロムパターンはマスク全体に均一に分布しているとは限らず、偏った分布状態をしていることもある。この場合にはマスクは局部的に温度が上昇し、非等方的な歪を発生する可能性がある。また、遮光帯(可変視野絞り)等を用いてマスクの一部のみを露光する場合にも同様に非等方的な歪が生じ得る。このように発生したマスクの歪により、投影される像にも非等方的な歪が生じることとなる。この場合には、倍率成分のみの補正では不十分である。

マスクの熱変形が起こると、従来の技術では使用しているマスクの種類により光学特性にずれを生じてしまう。つまり、出荷時の調整に用いたマスクの熱変形は投影光学系の光学特性の変化特性

【課題を解決するための手段】

上記問題点の解決のために本発明に係る投影光学装置は、所定波長域の照明光で所定のパターンが形成されたマスクを照明し、該パターンの像を投影光学系を介して、被投影基板上に所定の結像状態で結像させる投影光学装置であって、前記照明光の吸収による前記マスクの熱変形量に応じて生じる前記結像状態の変化量を演算する演算手段と、前記変化量に基づき前記結像状態を補正する補正手段とを具備させている。

【作用】

本発明は上記のように構成されているため、照明光の吸収によるマスクの熱変形量を求め、これに基づいて結像状態の変化を予測する。この結果を用いて結像状態の補正手段を用いて結像状態を一定に維持するか、もしくは結像状態の変動による影響を最少におさえる補正を行うことができる。

マスクの熱変形量を求める方法としては、マスクに使用しているクロム等の遮光部材の種類あるいは熱吸収率、パターンの密度分布、光源のパワ

として認識されて補正がかかっているが、他のマスクを使用すると熱変形量が異なるから補正しきれなくなる。また、マスクを次々に交換して露光を行う場合、従来の技術では各々のマスクの熱変形が考慮されていないため大きな誤差となり得る。

この対策として、例えばマスクを一定温度に冷却する方法が考えられるが、マスクのガラス表面温度とクロムの温度は一定にできないので、全体を一樣に熱分布なしに冷却することは不可能である。また、冷却は熱伝導をとまなう現象のため応答性が悪くシャッターのOPEN、CLOSEに追従できない等の問題もあり、非現実的である。

従来、精度上あまり問題にならなかったこれらの点が近年あるいは将来ますます微細化する投影パターンにとっては重要となってくると考えられる。本発明はこれらの問題に鑑みマスクの熱変形によって発生する光学特性の変化に対し良好に補正を行い得る投影光学装置を提供することを目的とする。

一、シャッターの開閉状態等の情報に基づき、数値計算によってマスク内の代表的な数点の熱変形量を求める方法がある。あるいは、直接マスクの計測用マーク位置を測定することにより熱変形量を求めることが考えられる。

さらにマスクの熱変形量から、光学計算あるいは実測に基づく定式化によって結像状態の変化を求める。この結果より、従来知られている結像特性の補正手段によって結像状態を補正する。このように本発明においては、マスクの熱変形による結像特性の変動分を結像特性を補正する手段で補正するため、結像特性の変動をキャンセルすることができ、常に良好な結像状態を維持することが可能となっている。

【実施例】

以下、本発明の一実施例を図面を参照して説明する。

第1図は本発明の実施例による投影光学装置の概略的な構成を示す平面図である。第1図において、超高圧水銀ランプ、エキシマレーザ光源等の

7で反射されてリレーレンズ9a、9b及び可変ブラインド10を通った後、ミラー12で垂直に下方に反射されてメインコンデンサーレンズ13に至り、レチクルRのパターン領域PAを均一な照度で照明する。可変ブラインド10の面はレチクルRと結像関係にあるので、駆動モータ11により可変ブラインド10を構成する稼働ブレードを開閉させて開口位置、形状を変えることによって、レチクルRの照明視野を任意に選択することができる。また、本実施例では照明光ILの照射によりウエハWから発生する反射光が、上記ミラー7を通過して光検出器（反射量モニタ）8に入射するように構成されている。反射量モニタ8は反射光を光電検出して光情報（強度値）RSを主制御系20に出力し、ここで上記情報RSは投影光学系PLの結像特性の変動量を求めるための基礎データとなる。（詳細後述）。

レチクルRは水平面内で2次元移動可能なレチクルステージRS上に載置され、パターン領域PAの中心点が光軸AXと一致するように位置決め

露光用の照明光源1は、s線、i線あるいは紫外線パルス光（例えばKrFエキシマレーザ等）のようなレジスト層を感光するような波長（露光波長）の照明光ILを発生する。照明光ILは、照明光の光路の開鎖、開放を行なうシャッター2、及び大部分（90%以上）の照明光を通過させる半透過鏡4を通過した後、オブチカルインテグレータ（フライアイレンズ）等を含む照明光学系6に達する。シャッター2は駆動部3により照明光の透過及び遮断を制御するように駆動される。また、半透過鏡4で反射された照明光の一部は、PINフォトダイオード等の光電検出器（パワーモニタ）5に入射する。パワーモニタ5は照明光ILを光電検出して光情報（強度値）PSを主制御系20に出力し、この情報PSは主制御系20において投影光学系PLの結像特性の変動量を求めるための基礎データとなっている（詳細後述）。

照明光学系6において光束の一様化、スベックルの低減化等を行なわれた照明光ILは、ミラー

が行なわれる。レチクルRの初期設定は、レチクル周辺のアライメントマーク（不図示）を光電検出するレチクルアライメント系RAからのマーク検出信号に基づいて、レチクルステージRSを微動することにより行なわれる。レチクルRは不図示のレチクル交換器により適宜交換されて使用される。特に多品種少量生産を行う場合、交換は頻繁に行われる。

さて、パターン領域PAを通過した照明光ILは、両側テレセントリックな投影光学系PLに入射し、投影光学系PLはレチクルRの回路パターンの投影像を、表面にレジスト層が形成され、その表面が結像面IMとはほぼ一致するように保持されたウエハW上の一つのショット領域に重ね合わせて投影（結像）する。ウエハWは、駆動モータ17により光軸方向（Z方向）に微動可能なZステージ14上に載置されている。さらにZステージ14は、駆動モータ18によりステップ・アンド・リビート方式で2次元移動可能なXYステージ15上に載置され、XYステージ15はウエハ

W 上の 1 つのショット領域に対するレチクル R の転写露光が終了すると、次のショット位置までステップングされる。XY ステージ 15 の 2 次元的な位置は干渉計 19 によって、例えば 0.01 μ m 程度の分解能で常時検出され、Z ステージ 14 の端部には干渉計 19 からのレーザビームを反射する鏡 14 m が固定されている。また、Z ステージ 14 上には照射量モニタ（例えば投影光学系 P L のイメージフィールドもしくはレチクルパターン上の投影領域とは同じ面積の受光面を備えた光電検出器）16 か、ウエハ W の表面位置とほぼ一致するように設けられており、照射量に関する情報 LS も主制御系 20 に送られ、投影光学系 P L の結像特性の変動量を求めるための基礎データとなっている。

また、第 1 図中には投影光学系 P L の結像面 1 M に向けてピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束もしくは平行光束を、光軸 A X に対して斜め方向より供給する照射光学系 22 a と、その結像光束もしくは平行光束のウエハ表

面での反射光束を受光する受光光学系 22 b とから成る斜入射方式の面検出系 22 が設けられている。ここで、面検出系 22 の構成等については、例えば特公平 2-10361 号公報に開示されており、ウエハ表面の結像面 1 M に対する上下方向（Z 方向）の位置を検出し、ウエハ W と投影光学系 P L との合焦状態を検出する焦点検出系と、ウエハ W 上の所定領域の結像面 1 M に対する傾きを検出する水平位置検出系とを組み合わせたものである。尚、本実施例では結像面 1 M が零点基準となるように、予め受光光学系 22 b の内部に設けられた不図示の平行平板ガラス（ブレン平行）の角度が調整されて、焦点検出系のキャリブレーションが行なわれるとともに、ウエハ W の表面と結像面 1 M とが一致した時に、照射光学系 22 a からの平行光束が受光光学系 22 b の内部の 4 分割受光素子（不図示）の中心位置に集光されるように、水平位置検出系のキャリブレーションが行なわれているものとする。

次に、結像状態を補正するための補正手段の構

成について説明する。本実施例においては、後に詳述するが、投影光学系 P L のレンズエレメントを駆動することにより、結像特性（投影倍率、ディストーション等）を補正する構成となっており、投影光学系 P L の光学特性を調整可能とするため、その光学要素の一部が移動可能となっている。第 1 図に示すように、レチクル R に最も近い第 1 群のレンズエレメント 30、31 は支持部材 32 により固定されるとともに、第 2 群のレンズエレメント 33 は支持部材 34 により固定され、さらに第 3 群のレンズエレメント 35 は支持部材 36 に固定されている。また、レンズエレメント 35 より下部のレンズエレメントはそれぞれ投影光学系 P L の鏡筒部 37 に固定されている。尚、本実施例において投影光学系 P L の光軸 A X とはこの鏡筒部 37 に固定されているレンズエレメントの光軸を指すものとする。さて、支持部材 36 は伸縮可能な駆動素子 40 a、40 b、40 c によって投影光学系 P L の鏡筒部 37 と連結されている。また、支持部材 34 は伸縮可能な駆動素子

39 a、39 b、39 c によって支持部材 36 に連結されるとともに、支持部材 32 は伸縮可能な駆動素子 38 a、38 b、38 c によって支持部材 34 に連結されている。ここで、本実施例は駆動素子制御部 23 によって、レチクル R に近いレンズエレメント 30、31、33 及び 35 が移動可能となっており、これらのエレメントは倍率、ディストーション特性に与える影響が他のレンズエレメントに比べて大きく制御しやすいものを選択してある。また、本実施例では移動可能なレンズエレメントを 3 群構成としているため、他の諸収差の変動を押さえつつレンズエレメントの移動範囲を大きくでき、しかも種々の形状歪み（台形、菱形、楕円、糸巻型等）に対応可能となっており、露光光吸収によるレチクル R の熱変形に応じて生じる投影光学系 P L の結像特性の変動に十分対応できる。尚、レンズエレメントの移動は、投影光学系 P L の他の諸収差（例えば非点収差等）に及ぼす影響が無視できる範囲内で行なうものとする。もしくは、レンズエレメント相互の間

隔を調整することによって、倍率、ディストーション特性を制御しつつ、他の諸収差をも補正するという方式を採用しても構わない。

第2図は投影光学系PLを上方(レチクル側)から見た図であって、駆動素子38a~38cはそれぞれ120°ずつ回転した位置に配置され、駆動素子制御部23により独立制御可能となっている。また、駆動素子39a~39c及び40a~40cについても同様にそれぞれ120°ずつ回転して配置され、駆動素子制御部23により独立制御可能となっている。駆動素子38a、39a及び40aは互いに40°だけずれて配置されており、駆動素子38b、39b及び40bと38c、39c及び40cについても同様に互いに40°ずつずれて配置されている。駆動素子38~40としては、例えば電歪素子、磁歪素子を用い、駆動素子に与える電圧または磁界に応じた駆動素子の変位量は予め求めておくものとする。ここでは図示していないが、駆動素子のヒステリシス性を考慮し、位置検出装置としての容量

メモリで、露光光吸収によるマスクの熱変形量を算出するために必要な種々のデータ(マスクの遮光部材の種類やパターンの密度分布等)が記憶されている。また、熱変形量に基づいて結像状態の変化量を演算するための数式もしくはテーブル等も格納されている。

次に、本実施例における結像特性の変動量の演算方法について述べる。本発明は、レチクルRの熱変形に応じて発生する結像特性の変動を補正するものであり、本実施例では、結像特性の変動量を演算するに当たって、まずこのレチクルRの熱変形量を求める。以下、その方法について説明する。

レチクルRの熱変形は、該レチクルRの温度分布に比例して発生していると考えてよいので、熱変形量を計算するためにはレチクルRのある時間における温度分布がわかればよい。例えばこの温度分布を計算機でシミュレーションする手法として、レチクルRをある有限な要素に分解し各点の温度変化を差分法、有限要素法等により計算する

型位置センサ、差動トランス等を駆動素子の近傍に設けることとする。従って、駆動素子に与える電圧または磁界に対応した駆動素子の位置をモニターできるので、高精度な駆動が可能となる。

以上の構成によって、3群のレンズエレメント(30、31)、33及び35の周辺3点を独立に、投影光学系PLの光軸AX方向に主制御系20から与えられる駆動指令に応じた量だけ移動させることができる。この結果、3群のレンズエレメント(30、31)、33及び35の各々を光軸AXにはほぼ沿って平行移動させることができるとともに、光軸AXとはほぼ垂直な平面に対して任意に傾斜させることが可能となる。尚、上記レンズエレメントはそれぞれ光軸AXを仮想的な傾斜基準として傾斜するものとする。

主制御系20は、パワーモニタ5、反射量モニタ8、照射量モニタ16より情報を得て、後述する如く投影光学系PLの結像特性の変動量を演算にて算出するとともに、駆動素子制御部23を始めとして装置全体を統括制御する。また、21は

ものが知られている。本実施例では単純な差分法で説明を行なう。

まず、レチクルRの正方形の露光エリアを第3図のごとく4×4の16のブロックに分割してそれぞれをブロックB1~B16とする。また各ブロックの中心点をP1~P16とする。この分割数あるいは計算法の選択は最終的に必要な精度と、計算機の計算スピード等を加味して決められるもので、本実施例では便宜的に16分割したにすぎない。

レチクルRはシャッタ2がオープン時には照明光学系6を介して均一に照明される。しかしながらレチクルRのパターンの分布によりレチクルR上に吸収される熱量は場所によって異なる。このためレチクルR上の各ブロックB1~B16毎にパターン存在率を求める。このとき各ブロック内では吸収される熱量が均一なものであると仮定する。

各ブロックのパターン存在率は例えばZステージ14上の照射量モニタ16とパワーモニタ5と

の出力比で求められる。照射量モニタ16は、2ステージ14上にあつて、投影光学系PLのイメージフィールドとはほぼ等しい口径の受光面をもつたフォトセルである。2ステージ14を移動させることで、照射量モニタ16を投影光学系PLのほぼ中心部へ送り込み、ウエハW上に照射される露光光の全てを受光して光電検出し、レチクルR等を介してウエハW上に到達する露光光の照射量を算出する。照射量は照明光のパワー、レチクルRの透過率、可変ブラインド5の大きさ等に依存するものである。また照射量モニタ16は、レチクルRが16分割されていることに対応して16分割されており、各ブロックを通過し結像した光量を独立に測定できるようになっている。このとき2ステージ14により照射量モニタ16とレチクルRとを正確に位置合わせしたのち測定を行なう。まず、あらかじめパターンの全く描かれていないレチクルで照射量モニタ16の各出力とパワーモニタ5の出力の比を求めておき、パターンを描かれたレチクルで出力比を測定してパターンの

存在率を求める。この測定はレチクル交換部に行なつてもよいし、あらかじめ測定しておき、メモリ21に記憶させておいてもよい。また照射量モニタ16については、各ブロックの面積が等しい場合は分割式でなくともよく、1ブロックに相当する大きさの照射量モニタをステージ上に用意して、ステージをステップすることにより測定を行つても良い。もちろんレチクルの製造時のデータによりパターン存在率がわかつていれば測定の必要はない。

さて、以上のように求めた各ブロックB1～B16のパターン存在率に基いて各ブロックの熱吸収量を計算する。各ブロックは光源1のパワーとパターン存在率とに比例して熱量を吸収する。吸収された熱は、空气中、あるいはレチクルホルダ8を介して逃げてゆく。また、各ブロック間においても熱は移動する。

ここで、例えば2物体間における熱量の移動を考える。この場合の熱量の移動は、基本的に2つの物体間の温度差に比例すると考えられる。ま

た、熱量の移動にともなう温度変化の変化率は熱量の移動量に比例する。これらを式で表すと次のようになる。

$$\Delta Q = K_1 (T_1 - T_2) \quad (T_1 > T_2) \quad \dots ①$$

$$\frac{dT_1}{dt} = -k_2 \Delta Q \quad \dots ②$$

$$\frac{dT_2}{dt} = k_3 \Delta Q \quad \dots ③$$

ただし、 ΔQ は移動した熱量、 T_1, T_2 は各物体の温度、 t は時間、 k_1, k_2, k_3 は比例定数である。①～③式より

$$\frac{dT_1}{dt} = -k_4 (T_1 - T_2) \quad \dots ④$$

$$\frac{dT_2}{dt} = k_5 (T_1 - T_2) \quad \dots ⑤$$

が成り立つ。これは、よく知られているように一次遅れ系であり、 T_1, T_2 に温度差があるとき、

両者はエクスポネンシャルカーブを描いて一定の温度に達する。上式に基いてレチクルR上の熱分布の計算を行なう。

まず、ブロックB1に注目する。B1は隣接するブロックB5、B2と熱のやりとり（熱伝達）をする。また、レチクルホルダ8及び空気とも熱のやりとりをするが、ここでは簡単にするため空気の温度とレチクルホルダ8の温度は一定とする。各ブロックの温度を $T_1 \sim T_{16}$ 、空気の温度を T_0 、レチクルホルダ8の温度を T_H とするとブロックBの温度 T_1 に関して次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} = & -k_{12}(T_2 - T_1) - k_{15}(T_5 - T_1) - k_{10}(T_H - T_1) \\ & - k_0(T_0 - T_1) + k_1 \eta_1 P \end{aligned} \quad \dots ⑥$$

ここで、 dT_1/dt は T_1 の時間微分、 k_{12}, k_{15} は各々ブロックB1とB2、B5との熱のやりとりの係数、 k_{10} はレチクルホルダ8とブロックB1の間の熱のやりとりの係数、 k_0 は各ブロックと空気との熱のやりとりの係数である。また、 η_1 はブロック1のパターン存在率、 P は光源1

のパワーでパワーモニタ5の出力に対応している。 k_p は照明光を各ブロックが吸収した熱量と η_1 、 P とを関係づける係数である。⑥式の最後の項は照明光から吸収する熱量を示しており、その他の項は吸収した熱が分散していく過程を示している。ここで T_H, T_0 は一定であり、 $T_H = T_0$ とし各ブロックの温度を $T_0 + \Delta T$ で表せることと、レチクル上の各ブロックはともに石英ガラスでできているため k_{12}, k_{13}, \dots 等は全て等しいことを考慮に入ると⑥式は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta T_1}{dt} &= K_R(\Delta T_2 - \Delta T_1) + K_R(\Delta T_3 - \Delta T_1) \\ &\quad + K_H(-\Delta T_1) + K_0(-\Delta T_1) + K_P \eta_1 P \\ &= (-2K_R - K_H - K_0)\Delta T_1 + K_R\Delta T_2 + K_R\Delta T_3 \\ &\quad + K_P \eta_1 P \quad \dots \text{⑦} \end{aligned}$$

(ただし、 $K_R = K_{12} = K_{13} = \dots$)

⑦式をブロックB1～B16についてそれぞれ求め、これをマトリックス表現で表すと次式のよ

η_2, P_2, \dots の値を計算機に入れてやれば、各時間毎の $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots$ の値を求めることができる。パターン存在率 η_1, η_2, \dots は前述したように実測によって得られ、入射光量 P_1, P_2, \dots はパワーモニタ5及び照射量モニタ16によって求まる。

また各係数 K_R, K_0, K_H, K_P はレチクル、空気の物性、空気の流速等から計算で求めることが可能である。もしくは、種々のレチクルに関して実験を行ない各係数が現実最もよく合うように決定することも可能である。

以上により温度分布 $\Delta T_1 \sim \Delta T_{16}$ が求まる。これらと石英ガラスの膨張係数より各ブロック $B_1 \sim B_{16}$ の中心点 $P_1 \sim P_{16}$ の相互の距離変化が求められ、レチクル上の各点の動きを決定することができ、これに基づいて、結像特性の変動、例えばウェハW上に投影される像の歪を計算することができる。

上記までの方法は一旦レチクルの温度分布 ΔT を求めてから、中心点 P の動きを求め、像歪を求めるという手段をとったが、 ΔT の代わりに直接像

うになる。

$$\begin{pmatrix} \frac{d\Delta T_1}{dt} \\ \frac{d\Delta T_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{d\Delta T_{16}}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2K_R - K_H - K_0 & K_R & 0 & 0 & K_R & 0 & 0 & \dots & 0 \\ K_R & -2K_R - K_0 & K_R & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -2K_R - K_H - K_0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta T_1 \\ \Delta T_2 \\ \vdots \\ \Delta T_{16} \end{pmatrix} + K_P \begin{pmatrix} \eta_1 P_1 \\ \eta_2 P_2 \\ \vdots \\ \eta_{16} P_{16} \end{pmatrix} \quad \dots \text{⑧}$$

これは一階の微分方程式の16元連立方程式であり、数値解法によって解くことが可能である。あるいは、微分の形をある微小時間(計算機の計算周期)の値の差として差分形式で表現して解く方法、すなわち差分法によっても解くことができる。

⑧式でいわゆる外力の項は最終項であるので、単位時間毎の各ブロックの値、すなわち $\eta_i P_i$ 、

歪(ディストーション、像面湾曲等)を計算することも可能である。このときには各係数 K_R, K_0, K_H, K_P を実験により求めれば、レチクルRのたわみの変化等も含まれた形となる。また、レチクルRの熱伝導性が非常によく、一部のみパターンがある場合あるいは一部のみに光があたる場合でも、レチクルRが一様に膨張すると考えても精度上問題がないときは、上記のような複雑な計算は必要なく、より単純な計算で済む。

次に、結像状態を補正する方法について説明を行なう。基本的には前述したとおり、投影光学系の3群のレンズエレメント(30、31)、(33)及び(35)を光軸方向あるいは光軸に垂直な軸を回転軸に傾斜方向に駆動することにより、所望の結像状態を得る。ここでは簡単にするためディストーションに限って説明を行なうが、本方法により像面湾曲等の補正も可能である。レンズエレメント30、31の駆動によるディストーションの変化を第5図、第6図で説明を行なう。実際にはレンズエレメントの構成により変化の仕方

は異なってくるので、ここで示す図は一つの例であって一般的なものではない。まずレンズエレメント30、あるいは31を光軸方向に移動した場合には、光軸を中心として倍率が変化する。これを第5図に示した。

また、光軸に垂直に交わる軸を中心にレンズエレメント12あるいは13を傾斜させたときには例えば、第6図に示した様にディストーションが変化する。この例では、回転軸から離れた像部分が該回転軸と垂直な方向に変化している。このように各レンズエレメント群(30、31)、(33)及び(35)の駆動方法の組合せて種々のディストーションを補正することが可能である。ディストーションを補正するためにレンズエレメントを駆動したことによって、他の収差(例えばコマ収差、非点収差)が悪化する可能性があるが、複数のレンズエレメントを駆動することができるので、収差を補正しつつ所望のディストーション補正を行なうことが可能となっている。

メモリ21には、第5図、第6図に示したよう

面の光軸方向の位置あるいは傾斜を検出するものである。主制御系20はウエハ面検出系22の出力に従って2ステージ14を制御し、該2ステージはウエハWと像面とが常に一致するように駆動される。

結像状態を補正する手段には、他にもレチクルRを光軸方向に動かす、あるいは傾ける、もしくは湾曲させる方法や、投影光学系9の内腔(レンズ素子間)に気密空間を設けその圧力を調整する方法、平行平板ガラスを投影光学系9の上方または下方に設置し内腔をコントロールすることによりガラスをたわませる方法等が考えられる。しかし、本実施例の場合のような光軸に対して対称でない変形を補正するのは困難であり、本実施例の方式を採用することが望ましい。尚、本実施例においてレンズ駆動に伴って、投影レンズPLEの結像特性、例えば投影倍率に変動し得る場合には、上記のいずれかの方法を用いて倍率変動を補正するようにしても良い。また、例えば非等方的なディストーションはレンズエレメント群を駆動して

な像面上のポイント $P_1 \sim P_n$ までの動きを数式もしくはテーブルの形で記憶させてあり、主制御系20において最適なディストーション補正量を計算する。計算法としては例えば、 $P_1 \sim P_n$ の理想的な格子点あるいは、レチクルRが冷えた状態の格子点(第4～6図では点線で示した)に対する偏差の最大値を最小とする条件、あるいは偏差の2乗和を最小とする条件を満たすようなディストーション補正が考えられる。

以上がディストーションの補正手段であるが、レンズエレメント群(30、31)、(33)及び(35)の駆動により、像面が変化(上下動、傾斜)してしまう可能性も考えられるが、この変化に応じてウエハ面検出系22にオフセットを与えてやればウエハWが常に最良像面にセットされるので、この影響を防げる。もちろんレチクルRの熱変形が像面に影響を及ぼす場合には、上記ディストーションと同様の方法により補正を行うことができる。ウエハ面検出系22は、前述したようにウエハ面に光線を照射しその反射光でウエハ

補正し、他の光学特性(投影倍率、像面湾曲等)は上記の方式を用いて補正するようにしても構わない。

次に、本実施例の動作の説明を行う。

まず、レチクルRの熱変形による結像状態の変動を計算する⑧式の各パラメータを、装置の製造時において決定しメモリ21に記憶させる必要がある。

レチクルRの熱伝導に関するパラメータ K_{\parallel} は、レチクルRの主材料であるガラスの材質、厚さ等によって定まる量である。これは、前述したように物性値あるいは実験によって求めることができる。また、 K_{\parallel} はガラス基板とレチクルホルダーB、もしくは空気との熱伝達に関するパラメータであり、これらもガラス基板の材質によって決まる量である。次に K_{\perp} であるが、これはレチクルRの遮光部及びガラス材の熱吸収に関するパラメータであるから、レチクルの遮光部材及びガラス基板の材質によって定まる量である。

これらのパラメータはレチクルRの材料である

ガラス等の物性値の関数もしくはテーブル等の形でメモリ 21 に記憶させておく必要があるが、実質的に最終的な結像状態に与える影響が無視できる程度の値であれば、一定値であってもかまわない。

実験でパラメータを求める場合には、投影光学系 PL そのものも照明光を吸収して結像状態が変化するので、純粋にレチクル R のみの熱変形を測定するには以下のようにする。まずレチクル R も投影光学系 PL も十分に外部の温度と平衡状態になったところでウエハ W にレチクル R の像を露光し、その後、レチクル R と投影光学系 PL の間に遮光物を入れ、一定時間シャッター 2 を開いて照明光を照射する。次に遮光物を取り除き再びウエハ W にレチクル R の像を露光し、最初に露光した像と比較すればレチクル R の熱変形による結像状態の変化量を知ることができる。この方法でレチクル R の熱変形に関して十分補正ができたところで、遮光物がない状態で照射を行えば投影光学系 9 の照明光吸収分を検出することができる。こ

する。

また、可変ブラインド 10 の開口値がレチクル R の熱変形量を算出するのに必要な理由は以下の通りである。例えば可変ブラインド 10 によりレチクル R の左半分のみに照明光が当たった場合には、均一に照明された場合とは異なり、第 4 図に示すように光の当たった側のみに変位を生じるからである。該可変ブラインド 10 の開口値に関する情報は、可変ブラインド 10 のコントローラブロックから得られる。さらにシャッター 2 の開閉の状態についてはシャッター 2 のコントロールブロックから情報が得られる。

さて、露光動作時にはパワーモニタ 5、反射量モニタ 8、照射量モニタ 16 からそれぞれ光情報（強度値）が主制御系 20 に出力される。主制御系 20 では、これらの情報と、前述したメモリ 21 に格納されている各データから、レチクル R と投影光学系 PL との熱吸収による結像状態の変化をそれぞれ計算し、合計の変化量を算出する。投影光学系 PL の結像状態が大気圧変化を始めとす

れにより、レチクルと投影光学系の熱変化を分離できるため分離して補正を行なうことができ、動作中にレチクル交換を行なっても正確に補正が行なえる。投影光学系 9 の照明光吸収に関しては従来の技術により補正が可能である。

前述したようにレチクル R の熱変形量を計算するにはレチクル R のガラス材質、遮光材の種類、各ブロックのパターン存在率、可変ブラインド 10 の開口値が必要である。このうち、レチクル R の属性に関しては、レチクル毎に実測するか、もしくはあらかじめメモリ 21 に格納しておく。

遮光部であるクロムの熱吸収率は、クロムの反射率からある程度推定できる。このためには、投影光学系 9 がウエハ W からの反射光によって受ける影響を補正するため反射量モニタ 8 を用いる。まず投影光学系の下に既知の反射率をもつ面をもってきて、その時の反射量モニタ 8 の出力と、あらかじめ求めておいたレチクル R のパターン存在率と、他のレンズ部材等の反射光成分より、レチクル面からの反射光成分を求めて、反射率を計算

る他の要因によっても変化をおこす場合、これらの変化量も合計する。この合計値に対し、最適な補正量を計算し、レンズエレメント駆動素子 38 ~ 40 を駆動して補正を行なう。ここで、焦点位置、像面傾斜については、ウエハ面検出系 22 及び 2 ステージ 14 を用いてウエハ W を上下動及び傾斜させることによって、投影レンズ PL の最良結像面とウエハ表面とを一致させることもできる。尚、本実施例では露光開始からレチクルが熱的に安定するまでの間、一定時間毎に上記演算を行ってレチクルの変形量に関するデータを更新していき、この更新データに基づいてレンズエレメント群を駆動するようにしても良く、より精度良く結像特性をコントロールすることが可能となる。また、上記演算を行うタイミングは任意でよく、例えばシャッター 2 の開閉時間等に応じて適宜行えば良い。または、露光開始から上記演算を常時行っておくものとしても良い。

レチクル R を交換して使用する場合、新たなレチクル R は十分周囲と平衡状態にあるとして改め

てレチクル R の熱変形を計算するのが通常であるが、短期間にくり返し交換して使用する場合、待機中のレチクル R について、放熱等を考慮して熱変形量を計算しておき、改めて使用するときはその時点での変形量を初期値として計算を行なえば、より正確な補正が行なえる。また、同一露光条件でレチクルを再使用する場合は、前回のデータ（例えば照射時間または蓄積エネルギー量と熱変形量との関係）をテーブル等としてメモリ 21 に格納しておけば、上記演算を行わなくとも、レチクルの照射時間又は蓄積エネルギー量に応じてレンズエレメント群を駆動することによって、本実施例と同等の精度で結像状態をコントロールすることも可能である。

前記までの実施例の中では、レチクル R のホールド方法について触れなかったが、実際にはレチクル R の熱変形はホールド方法にも依存する。例えば、レチクル R をきわめて強くホールドしている場合、レチクル R が膨張すると平面方向には変形できず上下方向に膨らむ様に変形することも考

ルホルダの温度を一定としたが、これらの温度を温度センサで測定し、計算の精度を上げることができる。または、これらの温度を一定に保つ工夫をしてもよい。

〔発明の効果〕

以上の様に本発明によれば、レチクルの照明光吸収にもとづく熱変形による結像状態の変化を計算によって求め、補正手段により補正を行なうことにより、キャンセルできるため、より高精度な結像を行なうことができ、像の重ね合わせ精度等が向上する効果がある。このため、レチクルの遮光部材等を熱吸収を考慮することなく、投影光学系あるいはウェハ位置決め系等の光学系にフレアー等の悪影響を与えないものを選ぶことができる。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図は本発明の実施例による縮小投影型露光装置（ステッパー）の構成を示す概略図、第 2 図は投影光学系を上方から見た図、第 3 図はレチクル上を 16 の部分に分割した格子を示す図、第 4

えられる。この場合結像状態はディストーションだけでなく像面の変化が大きくなる。さらに、レチクル R はもともと自重である程度たわんでいるので、これらのことを考慮するとより精度の高い補正が可能である。

また、前記までの方法は熱変形を計算によって求めたが、実測することも考えられる。例えば赤外線カメラ等、非接触の温度センサでレチクル R の温度分布を求めることができる。また、レチクル R の周辺に基準点にマークを入れておき、そのマークの変位を測定してレチクル R の変形を知ることも可能である。しかし、この方法ではレチクル R の内部の変形を知ることは困難である。尚、パターン領域内に複数の回路パターンが形成されたレチクル（いわゆるマルチ・ダイ・レチクル）の場合には、レチクル内部のストリートライン相当領域にマークを配置できるので、上記測定によりレチクルの変化量を求める方式も十分に有効である。

また、本実施例では周囲の空気あるいはレチク

図はレチクルの熱変形を模式的に示した図、第 5 図、第 6 図は本発明の実施例による結像状態補正手段による像面内の点の動きを示した図である。

〔主要部分の符号の説明〕

1 … 光源、10 … 可変ブラインド、R … レチクル、PL … 投影光学系、W … ウェハ、20 … 主制御系、30、31、33、35 … レンズ素子。

代理人 弁理士 佐 藤 正 年

